

30858.  
広瀬  
(中研)

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

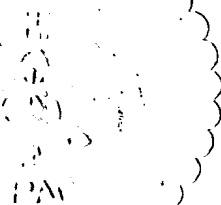
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年   5 月 2 3 日  
Date of Application:

出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 1 4 6 9 6 5  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 3 - 1 4 6 9 6 5 ]

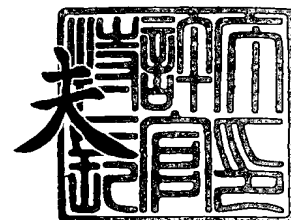
出      願      人            京セラ株式会社  
Applicant(s):



2 0 0 3 年 1 2 月 1 1 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康



62076 US

出証番号    出証特 2 0 0 3 - 3 1 0 2 8 8 3

【書類名】 特許願

【提出日】 平成15年 5月23日

【整理番号】 0000308581

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/20

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県名古屋市西区浄心 1 - 1 - 3 8 - 8 0 5

    【氏名】 赤崎 勇

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県名古屋市名東区山の手 2 - 1 0 4 宝マンション  
山の手 5 0 8

    【氏名】 天野 浩

【発明者】

    【住所又は居所】 愛知県名古屋市天白区梅が丘 4 丁目 2 1 6 - 2 0 3

    【氏名】 上山 智

【発明者】

    【住所又は居所】 京都府相楽郡精華町光台 3 丁目 5 番地 3 号 京セラ株式  
会社中央研究所内

    【氏名】 安田 隆則

【特許出願人】

    【識別番号】 000006633

    【住所又は居所】 京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地

    【氏名又は名称】 京セラ株式会社

    【代表者】 西口 泰夫

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 005337

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

【物件名】

図面 1

【物件名】

要約書 1

【プルーフの要否】

要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 六方晶構造を有しかつ導電性を有する単結晶基板の一主面上に、発光部を含み  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ただし、 $0 \leq x < 1$ ）であらわされる窒化物半導体層を形成してなるとともに、前記窒化物半導体層上に一方電極を形成し、かつ前記単結晶基板の他主面上に他方電極を形成したことを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 前記単結晶基板は、 $\text{XB}_2$ （ただし、 $X$ は $\text{Zr}$ および $\text{Ti}$ の少なくとも1種を含む）であらわされる硼化物であることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は発光ダイオードや半導体レーザー等の半導体装置に関し、特に硼化物の単結晶基板に窒化物半導体層を形成させた半導体装置に関する。

【0002】

【従来技術とその課題】

近年、窒化ガリウム（ $\text{GaN}$ ）、窒化インジウム（ $\text{InN}$ ）、窒化アルミニウム（ $\text{AlN}$ ）等の窒化物半導体は、直接遷移型の化合物半導体であり、また広いバンドギャップを有するため、青色光あるいは紫色光の発光ダイオードや半導体レーザー、フォトディテクタなどの光素子用材料として利用されている。また、高周波や大電力に対応でき、しかも信頼性が高いので、高性能な電子素子用材料として注目されている。

【0003】

従来、窒化物半導体に対して良好な格子整合が実現される適当な基板がなかったため、サファイア基板などの異種材料の基板を用いて、窒化物半導体をエピタキシャル成長させてきた。

【0004】

しかしながら、例えばサファイア基板に GaN 膜を形成する場合、サファイア基板と GaN とでは両者の格子不整合が 13.8%、熱膨張係数の差が  $3.2 \times 10^{-6} / \text{K}$  であり、これらの不整合により、サファイア基板と GaN 膜の界面に結晶欠陥が生じやすく、これに伴い GaN 膜に  $10^8 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$  の転位が生じる。さらに、このような結晶欠陥と熱歪とから GaN 膜に反りが生じ、全体の結晶性を著しく劣化させることがあった。

#### 【0005】

これまで、サファイア基板上に結晶成長させて作製された窒化物半導体装置としては青色発光素子などが知られている。このような半導体装置の一例を図 4 に断面図にて示す。

#### 【0006】

図 4 に示すように、サファイア基板 40 上には、GaN バッファ層 41 が形成され、この GaN バッファ層 41 上に、n 型半導体層の n-GaN 層 42、n 型半導体層の n-AlGaIn クラッド層 43、InGaIn 発光層 44、p 型半導体層の p-AlGaIn クラッド層 45、および p 型半導体層の p-GaN 層 46 が順次積層された多層構造の GaN 系半導体からなる成長層が形成されている。この成長層の一部において、p-GaN 層 46 から n-GaN 層 42 の上部領域までがエッチング除去されて、n-GaN 層 42 の一部が露出されている。この露出領域の上面には n 型電極 48 が形成され、最上層の p-GaN 層 46 の上面には p 型電極 47 が形成されている。

#### 【0007】

サファイア基板は比抵抗が  $10^{10} \Omega \text{ cm}$  以上の値を示す絶縁体であるため、サファイア基板の主面上および裏面上には電極を形成することができない。そのため上述したように、窒化物半導体層の一部をエッチングすることにより、サファイア基板の同一主面側の窒化物半導体上にて p 型電極と n 型電極を作製しなければならなかった。

#### 【0008】

そして、このようにして作製した電極は、半導体装置をワイヤーボンディングなどで実装する場合、光の外部取り出しが悪くなる。また、半導体装置の作製工

程においてエッチング工程が必要となる。しかも、このエッチング工程により半導体装置の積層構造に対して特性に悪影響を与える損傷を生じさせる。

#### 【0009】

さらに、図4に示す半導体装置における電流の伝導路は、 $n\text{-Ga}\text{N}$ 層42の水平方向を伝導し、その抵抗は $n\text{-Ga}\text{N}$ 層42の断面と厚さの積に反比例し、極めて高抵抗な値となり、半導体装置の駆動電圧を高める。

#### 【0010】

以上のことから、一方の電極を窒化物半導体層上に作製し、他方の電極を単結晶基板上に作製するといった縦型伝導の窒化物半導体素子が望まれる。そこで、 $\text{Si}$ 基板や $\text{GaAs}$ 基板等の導電性のある半導体基板を用いて、その上に窒化物半導体を成長させることが試みられているが、これら半導体基板は六方晶の窒化物半導体とは異なる立方晶の閃亜鉛構造であり格子整合性が悪く、これまで結晶性の良い窒化物半導体は得られていない。

#### 【0011】

また、 $6\text{H-SiC}$ からなる基板を用いることも考えられるが、この場合 $\text{Ga}\text{N}$ との格子不整合率がサファイア基板の16.0%に比べて3.5%と小さい値であるものの、 $\text{Ga}\text{N}$ 膜に $10^8 \sim 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ の転位が生じて結晶性を著しく劣化させる。さらに、基板の導電性も $n$ 型しか制御できないので装置全体の構造が制約を受ける。

#### 【0012】

そこで本発明は、半導体層の構造に損傷を与えることがなく、しかも装置全体の構造が制約されない、駆動電圧の低い優れた半導体装置を提供することを目的とする。

#### 【0013】

##### 【特許文献1】

特開2002-43223号公報

#### 【0014】

##### 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明の半導体装置は、六方晶構造をなしかつ導

電性を有する単結晶基板の一主面上に、発光部を含み  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  (ただし、 $0 \leq x < 1$ ) であらわされる窒化物半導体層を形成してなるとともに、前記窒化物半導体層上に一方電極を形成し、かつ前記単結晶基板の他主面上に他方電極を形成したことを特徴とする。特に前記単結晶基板は、 $\text{XB}_2$  (ただし、XはZrおよび／またはTiを含む) であらわされる硼化物であることとする。

#### 【0015】

##### 【発明の実施の形態】

以下に、本発明に係る半導体装置の実施形態について図面に基づき詳細に説明する。

#### 【0016】

図1に示すように、本発明の半導体装置は、六方晶構造をなしかつ導電性を有する単結晶基板10の一主面上に、発光部を含み  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  (ただし、 $0 \leq x < 1$ ) であらわされる窒化物半導体層を形成し、この窒化物半導体層上に一方電極である後記する逆導電型電極17を、単結晶基板10の他主面上に他方電極である後記する一導電型電極18を形成したものである。単結晶基板10は特に  $\text{XB}_2$  (ただし、XはZrおよび／またはTiを含む) であらわされる硼化物とするとよい。

#### 【0017】

ここで、単結晶基板10を  $\text{ZrB}_2$  であらわされる二硼化物とした場合、窒化物半導体層を好適に成長させるには(0001)面を主面とした基板にするのが望ましい。 $\text{ZrB}_2$  (格子定数： $a=3.170\text{\AA}$ ) はウルツァイト構造の  $\text{GaN}$  (格子定数： $a=3.189\text{\AA}$ ) との格子不整合が0.60%であり、熱膨張係数の差も  $2.7 \times 10^{-6}/\text{K}$  と極めて整合性の高い組み合わせとなる。これにより、格子欠陥が少なく、基板に成長させる窒化物半導体の応力が少ない良質な窒化物半導体が得られる。また、単結晶基板10を  $\text{TiB}_2$  (格子定数： $a=3.030\text{\AA}$ ) であらわされる二硼化物とした場合も、 $\text{TiB}_2$  は  $\text{ZrB}_2$  と物理的性質および化学的性質等が類似しているので、 $\text{ZrB}_2$  の場合と同様に考えることができる。また、ZrまたはTiのかわりにZrおよびTiの両方を含む硼化物としても、 $\text{ZrB}_2$  の場合と同様に考えることができる。

## 【0018】

窒化物半導体の結晶成長には、分子線エピタキシー (MBE) 法、有機金属エピタキシー (MOCVD) 法、ハイドライド気相エピタキシー (HVPE) 法、昇華法などが利用される。また、これらの成長方法を組み合わせることも可能である。例えば、半導体素子を作製するためのエピタキシー成長は、表面状態を制御して成長できる MBE 法、MOCVD 法により行なわせることが望ましい。

## 【0019】

単結晶基板 10 に成長させるバッファ層は 500℃～600℃ の温度で結晶成長を行なわせる。このとき、ヒーター等で加熱されたサセプターから熱伝導により、単結晶基板 10 が加熱される。サセプターからの熱エネルギーは熱接触により単結晶基板 10 へ熱伝導する。また、熱接触以外にサセプター表面から熱輻射 (赤外光) として放出される。この熱輻射は (半) 金属的性質を有する単結晶基板 10 で吸収され加熱される。なお、バッファ層はシリコン (Si) などの一導電型不純物を含有するものとする。

## 【0020】

次に、成長温度を 900℃～1000℃ に昇温した後、一導電型半導体層と発光部である発光層を含む逆導電型半導体層を成長させる。一導電型半導体層はシリコン (Si) などの一導電型不純物を含有する。発光層は半導体不純物を含有しない層とする。逆導電型半導体層はマグネシウム (Mg)、亜鉛 (Zn) などの逆導電型不純物を含有する。

## 【0021】

次に、結晶成長後の素子基板に対してフォトリソグラフィー技術を用い、フォトレジストによるマスク処理を施し、蒸着法やスパッタリング法などの形成法を用いて導電型電極材料を成膜する。その後、リフトオフ工程にて形成されているフォトレジストを剥離して逆導電型電極 17 を形成する。この逆導電型電極 17 には金 (Au)、アルミニウム (Al)、クロム (Cr)、チタン (Ti)、ニッケル (Ni) などを使用する。

## 【0022】

その後、単結晶基板 10 の他方主面である裏面に一導電型電極 18 を形成する



。この一導電型電極 18 も逆導電型電極 17 と同様な材料と形成法を用いて作製する。

#### 【0023】

かくして、本発明の半導体装置によれば、従来必要とされた電極作製の際のエッチング工程が不要となり、これにより、半導体層の構造に損傷を与えることがない。さらに、単結晶基板の両主面側に電極を形成するので、装置全体の構造上の制約がなく、しかも電流の伝導が縦型伝導となる。これらのことにより、駆動電圧が低く小型化を図ることが可能な発光効率の優れた半導体装置を提供することができる。

#### 【0024】

##### 【実施例】

次に、本発明の半導体装置を具体化した紫外半導体発光素子を例にとり、図面に基づいて説明する。

#### 【0025】

まず、図 1 に示す単結晶基板 10 として (0001) 面を主面とする  $ZrB_2$  基板を用意した。これを MOCVD 成長炉にセットし、高真空の炉内において、単結晶基板 10 を 800℃ まで加熱して結晶成長を開始させた。その後、温度を 600℃ まで降温してバッファ層 11 の成長を行なわせた。ここで、バッファ層 11 は一導電型不純物としてシリコン (Si) を含有する  $AlGaIn$  からなり、トリメチルアルミニウム (以下、TMA)、トリメチルガリウム (以下、TMG)、およびアンモニアガスを原料とし、一導電型不純物原料としてシラン ( $SiH_4$ ) ガスを用いて 20 nm の厚さまで成長させた。

#### 【0026】

次に、成長温度を 1050℃ まで上昇させ、この成長温度にて一導電型クラッド層 13、発光部である発光層 14、逆導電型クラッド層 15、および逆導電型コンタクト層 16 を順次成長させた。

#### 【0027】

一導電型クラッド層 13 は、一導電型不純物としてシリコン (Si) を含有する  $AlGaIn$  からなり、TMA、TMG、およびアンモニアガスを原料とし、一

導電型不純物原料として  $\text{SiH}_4$  ガスを用い、200 nm の厚さまで成長させた。

【0028】

発光層 14 は  $\text{GaN}$  からなり、TMG とアンモニアガスを原料とし、100 nm の厚さまで成長させた。

【0029】

逆導電型クラッド層 15 は、逆導電型不純物としてマグネシウム ( $\text{Mg}$ ) を含有する  $\text{AlGaN}$  からなり、TMA、TMG、およびアンモニアガスを原料とし、逆導電型不純物原料としてビスシクロペンタジエニルマグネシウム (以下、 $\text{CP}_2\text{Mg}$ ) を用い、200 nm の厚さまで成長させた。

【0030】

逆導電型コンタクト層 16 は、逆導電型不純物としてマグネシウム ( $\text{Mg}$ ) を含有する  $\text{GaN}$  からなり、TMG とアンモニアガスを原料とし、逆導電型不純物原料として  $\text{CP}_2\text{Mg}$  を用い、20 nm の厚さまで成長させた。

【0031】

次に、結晶成長後の基板を熱拡散にて不純物活性化アニール行なった。活性化アニールは 825℃ の温度で 5 分間だけ行なった。

【0032】

そして、真空蒸着機にて逆導電型コンタクト層 16 に  $\text{Ni}$  (厚み 50 Å)、 $\text{Au}$  (厚み 2000 Å) を蒸着し、熱拡散炉にて 825℃ の温度で 5 分間アニール処理を施すことにより逆導電型電極 17 を形成した。

【0033】

その後、単結晶基板 10 の裏面に真空蒸着機にて  $\text{Ti}$  (厚み 200 Å)、 $\text{Au}$  (厚み 2000 Å) を蒸着することにより一導電型電極 18 を形成した。

【0034】

また、比較のため、窒化物半導体層の一部をエッチングし、同一主面側の窒化物半導体層上に素子電極を形成した紫外半導体発光素子を作製した。その断面図を図 2 に示す。この比較例も本発明の実施例と同様にして作製した。すなわち、同様な材料の単結晶基板 20 上に同様の結晶成長を行なわせ、バッファ層 21、一導電型クラッド層 23、発光層 24、逆導電型クラッド層 25、および逆導電

型コンタクト層 26 を形成した。そして、この逆導電型コンタクト層 26 上に逆導電型電極 27 を形成し、さらに、不純物活性化を施すアニール処理後の単結晶基板 20 をフォトリソグラフィ工程にてフォトリソグによるマスク処理を施した後、真空蒸着機にて金属を蒸着し、リフトオフ工程を経て素子基板表面に金属のマスクを作製した。そして、反応性イオンエッチング (RIE) 装置にて一導電型クラッド層 23 の一部が露出するまでエッチングを行ない、真空蒸着機を用いて Ti (厚み約 300 Å)、Al (厚み約 1000 Å)、Au (厚み約 2000 Å) を蒸着し、熱拡散炉にて温度約 500°C で 5 分間アニール処理を行なうことにより一導電型電極 28 を形成した。

#### 【0035】

次に、このように作製した 2 つの発光素子を発光させ、電流-電圧特性を測定した。その結果を図 3 に示す。図 3 から明らかなように、例えば 50mA 以下における 2 つの発光素子の電圧を比較することで、本発明の実施例による発光素子の駆動電圧が、従来構成の発光素子に相当する比較例の駆動電圧よりきわめて低いことが判明した。つまり、単結晶基板の同一主面側に形成した窒化物半導体層上に素子の両極性の電極を作製するよりも、一方の電極を単結晶基板上に直接形成する方が素子の駆動電圧を大幅に下げることが判明した。これは、比較例の場合、素子の一部をエッチングすることにより、素子構造に損傷を与えたためと考えられる。また、電流の伝導が窒化物半導体層の水平方向になるため、極めて高抵抗となり、これにより素子の駆動電圧を高めたためと考えられる。

#### 【0036】

##### 【発明の効果】

本発明の半導体装置によれば、六方晶構造をなしかつ導電性を有する単結晶基板の一主面上に、発光部を含み  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  (ただし、 $0 \leq x < 1$ ) であらわされる窒化物半導体層を形成してなるとともに、前記窒化物半導体層上に一方電極を、前記単結晶基板の他主面上に他方電極を形成してなるので、電極の作製の際に窒化物半導体層をエッチングする必要がなく、これにより発光部を含む窒化物半導体層が損傷を受けることがない。さらに、電流の伝導が縦型伝導となるので、駆動電圧が低く発光効率の優れた半導体装置を提供できる。

**【図面の簡単な説明】****【図 1】**

本発明に係る半導体装置である紫外発光素子を模式的に説明する断面図である。

。

**【図 2】**

本発明に係る実施例と比較する紫外発光素子の模式的断面図である。

**【図 3】**

本発明に係る実施例と比較例との電流－電圧特性図である。

**【図 4】**

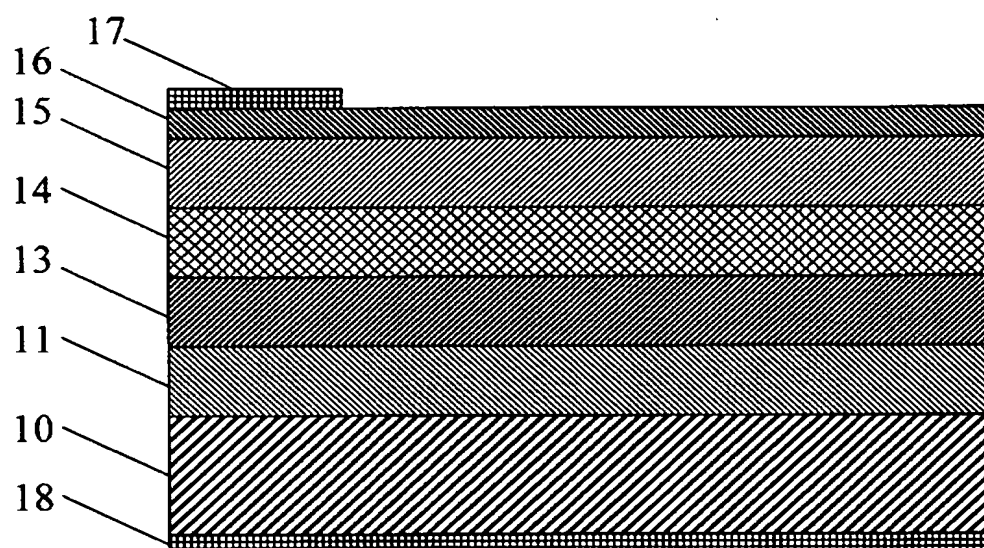
従来の青色発光素子を説明する断面図である。

**【符号の説明】**

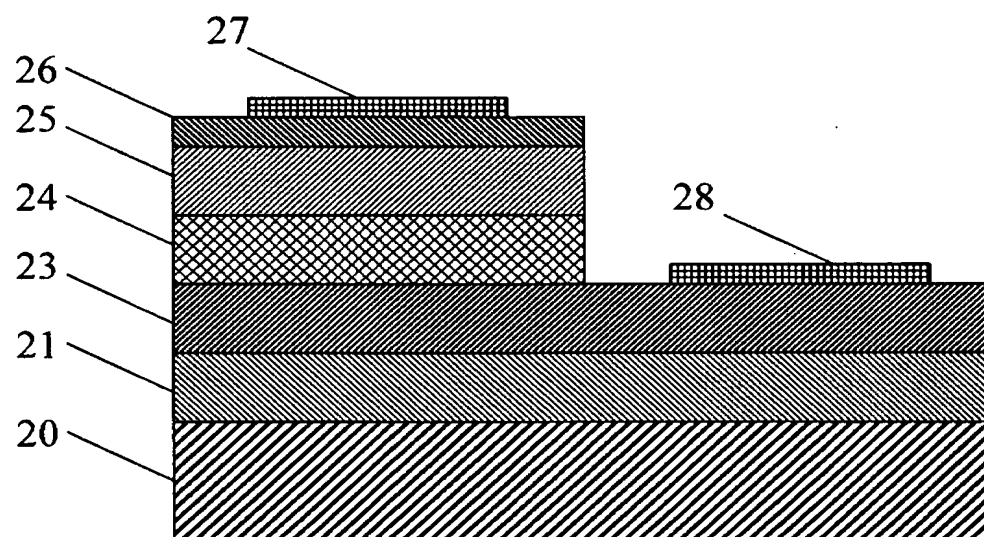
- 1 0    :   単結晶基板
- 1 1    :   バッファ層
- 1 3    :   一導電型クラッド層
- 1 4    :   発光層
- 1 5    :   逆導電型クラッド層
- 1 6    :   逆導電型コンタクト層
- 1 7    :   逆導電型電極
- 1 8    :   一導電型電極

【書類名】 図面

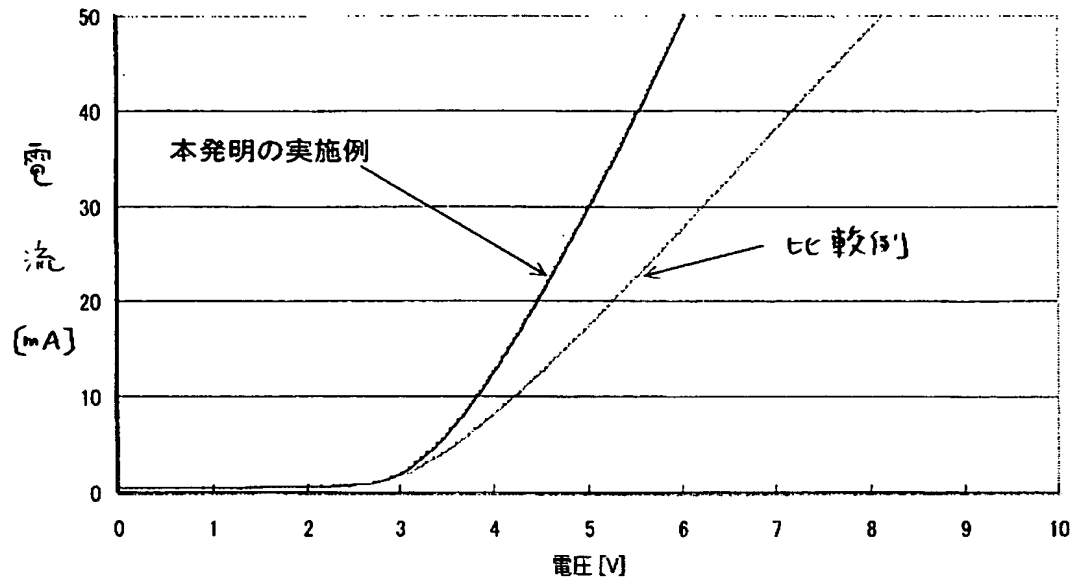
【図 1】



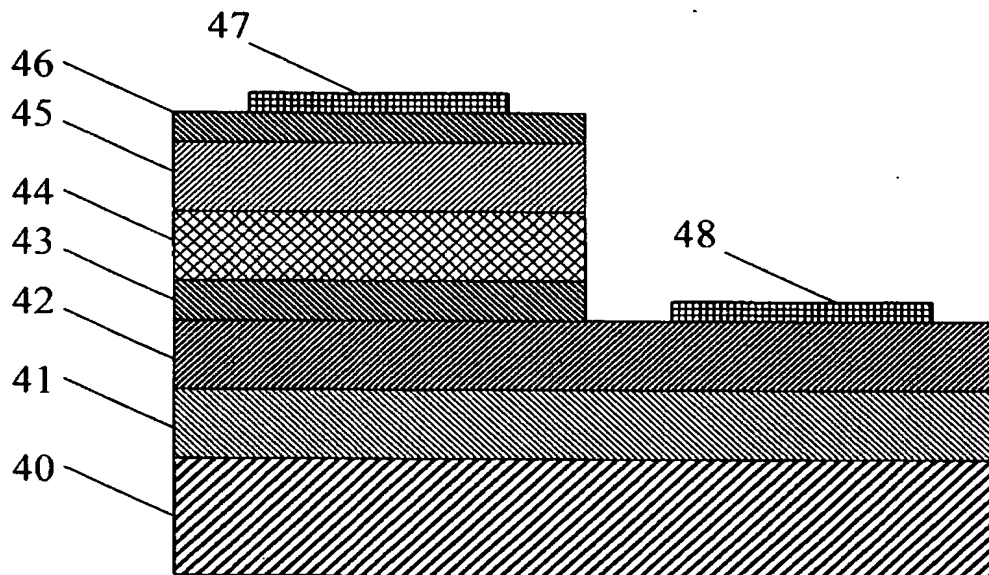
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 半導体層の作製にエッチング工程が必要となり、これにより、半導体層に損傷を与えること。

【解決手段】 六方晶構造を有しかつ導電性を有する単結晶基板 10 の一主面上に、発光部を含み  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ただし、 $0 \leq x < 1$ ）であらわされる窒化物半導体層を形成してなるとともに、この窒化物半導体層上に一方電極 17 を形成してなり、かつ単結晶基板 10 の他主面上に他方電極 18 を形成してなる半導体装置とする。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 1 4 6 9 6 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 6 6 3 3 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

京都府京都市山科区東野北井ノ上町 5 番地の 2 2

氏 名

京セラ株式会社

2. 変更年月日

1 9 9 8 年 8 月 2 1 日

[変更理由]

住所変更

住 所

京都府京都市伏見区竹田鳥羽殿町 6 番地

氏 名

京セラ株式会社